

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

B25J 19/02

[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 98111392.3

[45]授权公告日 2000 年 10 月 11 日

[11]授权公告号 CN 1057246C

[22]申请日 1998.7.1 [24]颁证日 2000.8.19

[21]申请号 98111392.3

[73]专利权人 中国科学院合肥智能机械研究所

地址 230031 安徽省合肥市西郊董铺 1130 号信箱

[72]发明人 梅 涛 倪礼宾 戈 瑜 施锡昌
陈 永 陈效肯 倪 林 马 军
申 飞 陈 臻 王芳芳

[56]参考文献

CN2156492Y 1994. 2.16 G01L1/24

US5354162 1994. 10.11 B25J13/02

审查员 22 52

[74]专利代理机构 中国科学院合肥专利事务所

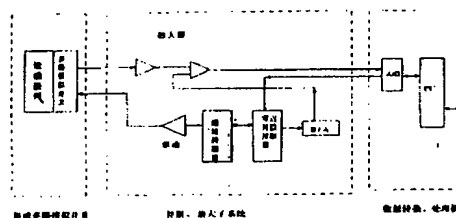
代理人 赵晓薇

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图页数 12 页

[54]发明名称 一种多功能类皮肤型传感器

[57]摘要

一种用于测量机械手手爪接触面上受力情况的多功能类皮肤型传感器,它属于机器人传感器领域。该传感器包括敏感阵列和信息处理系统,敏感阵列由表面覆盖层、敏感单元阵列、传力阵列、保护阵列和基板构成;信息处理系统由控制放大单元和数据转换处理机构成;传感器信号采用双重解耦,利用半导体工艺和微机械加工技术,在硅片上制成 4×8 三维力敏阵列,辅以高速、多路数据采集信息解释与融合技术,获得触觉、滑觉、压觉、力觉信息。



ISSN 1000-8-4274

权 利 要 求 书

1.一种多功能类皮肤型传感器,包括敏感阵列和信号处理系统,敏感阵列为一扁平长方体,由表面覆盖层,敏感单元阵列、敏感元件、传力阵列、保护阵列和基板构成,表面覆盖层粘贴有可反映实际受力分布的柔性橡胶膜片,敏感单元阵列由32个对法向、切向三个力分量均具有力敏特性的敏感单元以4×8阵列方式构成,传力阵列由安装在各敏感单元中心的32个传力柱组成,保护阵列安装在敏感阵列下面起过载保护作用,基板是敏感阵列的安装结构板,在上面印制了镀金引线电极,用于敏感阵列的内部和外部引线;信号处理系统由控制放大单元和数据转换处理机构成;其特征在于:

所述的敏感元件为硅掺杂电阻,利用半导体工艺中的离子注入、光刻,在相应位置上制作多个电阻,并采用各向异性腐蚀技术在硅片上刻蚀出一定的"E"形膜片,腐蚀液为33%KOH,温度76°C,电阻按一定规律构成桥路,形成敏感单元的基本结构,反映出作用在"E"形膜上多方向力的变化;"E"形膜片在结构设计中 $a=0.5\text{mm}$ 、 $b=1.5\text{mm}$ 、 $t=80\mu\text{m}$,弹性膜量 $E=1.67\times 10^{11}\text{N/m}^2$,泊松比 $\sigma=0.3$ 按方块图所示位置和接线可以组成三组单独的电阻网络,它们的输出电压变化量分别与法向力 F_z 和两个切向力 F_x 、 F_y 相对应,其中切向力信息获取采用了非弯矩方式,这些力信号通过信号处理系统处理,转换成所需的力觉、触觉、压觉和滑觉信息;

所述的E型膜片在敏感结构设计及加工实验中,E形膜片的最佳厚度为65~70 μm .在受到法向力和切向力作用时,其应力、应变、和变形有如下关系:

法向力 $F_n=2\text{N}$ 时:

径向应力 $\sigma_{r/r=a}=80\text{MPa}$

$S_{r/r=b}=-127\text{MPa}$

切向应力 $s_{t/r=a}=24\text{MPa}$

$S_{t/r=b}=-38\text{MPa}$

径向应变 $s_{r/r=a}=438\times 10^{-6}$

$e_{r/r=b}=-699\times 10^{-6}$

切向力 $F_t=0.4\text{N}$ 时:

最大应力 $\sigma_{\max}=48\text{MPa}$,

中心转角 $\theta=0.38\times 10\text{rad}$;

所述的硅掺杂电阻,工艺采用离子注入技术实现,其工艺参数为:方阻 $RS=300\Omega/\square$,方块数=10;掺杂元素为 B^+ ,注入剂量 $5.5\times 10^{14}/\text{cm}^2$,束流100 μA ,能量10keV,时间35秒,注入后在920°C下通氮气150分钟,氧气20分钟,使结深达1 μm 左右。

权 利 要 求 书

2.一种用于多功能类皮肤型传感器的信号双重解耦方法，其特征在于：在第一层线性解耦的基础上进行第二层神经网络解耦，所述的线性解耦，即解出每个敏感单元中，各方向受力后相应敏感元件输出间耦合满足线性关系，耦合矩阵由对传感器的实际标定算得，该矩阵经反转后得解耦矩阵；

所述的第二层神经网络解耦，采用BP神经网络方法解耦，应用误差反传算法为学习规则，网络共分四层：输入层、隐含层二、输出层；隐含单元的输出函数是双曲正切函数，输出层单元的输出函数是有界线性函数，在整个传感器结构中力传递模式不明确的状态下，神经网络解耦解出敏感单元之间的耦合，使整个传感器阵列中所有可用信息得到充分的融合。

说明书

一种多功能类皮肤型传感器

本发明涉及机器人传感器领域，特别涉及一种用于测量机械手手爪接触面上受力情况的多功能类皮肤型传感器。

触觉传感器是具有人体皮肤感觉功能的传感器，机器人触觉传感器不可能实现人体全部的触觉功能，人类对机器人触觉的研究只能集中在扩展机器人能力所必须的触觉功能。一般地，把检测感知和外部直接接触而产生的接触、压力、滑觉的传感器，称为机器人触觉传感器。触觉传感器表面不单受到垂直方向的作用力，而且会受到任意方向的力。近些年来，日本富士电机综合研究所正在研究开发一种能测量三个方向分力的传感器，其圆环受到 F_x 、 F_y 、 F_z 三个方向的作用力，如果在环的适当位置贴上应变片，将应变片接入惠斯登电桥，就可以分别测出 F_x 、 F_y 、 F_z 三个分力。在环形单晶硅表面，利用半导体工艺方法制成应变片和引出信号的模拟开关，它们被氧化铝陶瓷衬支撑，形成 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的多面体传感器单元。传感器单元安装在内置放大器、多路开关等电路的衬底上，可以测量作用在传感器表面各处的三个方向的分力。目前国外仍在研究开发之中，尚未形成产品。

本发明的目的是提供一种多功能触觉传感器将接触觉、压觉、力觉、滑觉等多种感觉集于一身，可以获取综合的触觉信息，其功能超过目前大量研究的单一功能的触觉传感器，可望广泛用于空间机器人，精密装配机器人。

本发明的技术方案是一种多功能类皮肤型传感器，包括敏感阵列和信号处理系统，敏感阵列为一扁平长方体，由表面覆盖层、敏感单元阵列、敏感元件、传力阵列、保护阵列和基板构成，表面覆盖层粘贴有可反映实际受力分布的柔性橡胶膜片，敏感单元阵列由 32 个对法向、切向三个力分量均具有力敏特性的敏感单元以 4×8 阵列方式构成，传力阵列由安装在各敏感单元中心的 32 个传力柱组成，保护阵列安装在敏感阵列下面起过载保护作用，基板是敏感阵列的安装结构板，在上面印制了镀金引线电极，用于敏感阵列的内部和外部引线；信号处理系统由控制放大单元和数据转换处理机构成；其特征在于：

所述的敏感元件为硅掺杂电阻，利用半导体工艺中的离子注入、光刻，在相应位置上制作多个电阻，并采用各向异性腐蚀技术在硅片上刻蚀出一定的“E”形膜，腐蚀液为 33%KOH，温度 76°C ，电阻按一定规律

说明书

构成桥路，形成敏感单元的基本结构，反映出作用在“E”形膜上多方向力的变化；“E”形膜在结构设计中 $a=0.5\text{mm}$ 、 $b=1.5\text{mm}$ 、 $t=80\mu\text{m}$ ，弹性膜量 $E=1.67\times 10^{11}\text{N/m}^2$ ，泊松比 $\sigma=0.3$ 按方块图所示位置和接线可以组成三组单独的电阻网络，它们的输出电压变化量分别与法向力 F_z 和两个切向力 F_x F_y 相对应，其中切向力信息获取采用了非弯矩方式，这些力信号通过信号处理系统处理，转换成所需的力觉、接触觉、压觉和滑觉信息。

敏感阵列的研制经过三个阶段。首先是研制不带信号读出集成电路的三维力敏单元和阵列，对敏感单元的力学特性、微机械加工方法、三维力敏感特性进行实验验证。第二阶段是研制具有信号读出集成电路的实验阵列，主要用于检验集成电路设计的正确性，以及对微机械加工工艺与集成电路制造工艺的兼容性进行研究。最后阶段就是在前期研究的基础上，研制功能、精度和尺寸完全符合技术要求的敏感阵列。

在任何电子机械系统中，工艺兼容性都是首先必须考虑的问题。本发明在敏感芯片制作工艺中将集成电路和敏感电阻的制作安排在微加工前面进行，从根本上避免了腐蚀液对集成电路工艺设备的污染。为了避免微加工过程中腐蚀液对集成电路的影响，本发明研制了一种专用的腐蚀夹具，将硅面正面的集成电路与腐蚀液隔离，并在集成电路表面制作了双层低温二氧化硅、氮化硅保护膜。为了提高敏感单元对切向力的灵敏度，本发明在敏感结构设计及加工方面进行了大量实验，发现 E 型膜片的最佳厚度为 $65\sim 70\mu\text{m}$ ，此时切向灵敏度较大，同时能够保证敏感芯片具有足够的强度。由于敏感单元尺寸较小不能采用现有的多维力标定系统进行性能测试，本发明研制了专用的三维力标定测试系统。采用三维运动机构对敏感单元施加三维力，并通过高精度的厚膜三维力传感器检测出力的大小，与敏感单元的输出信号进行比较，从而实现了三维力的标定与测试。

一种多功能类皮肤型传感器信息处理系统性能要求：

输入信号数量：97 路（4 行 \times 8 列 \times 3 路+1 路）

输入信号分辨力：不低于 $20\mu\text{V}$

数据刷新时间：10mS

系统输出参数：

合力： F_z, F_x, F_y, F_{xy}

切向力与法向力比值： F_{xy}/F_z

压觉图像： F_z 分布图(4 \times 8 像素点)

说明书

本发明的信号处理系统全部软件使用 C 语言编制，功能为测量、标定、训练等。全部程序共占约占 2MB 空间，可根据不同目的选用。系统软件配有下列模块可根据不同要求使用：A/D 转换、平滑滤波、温度补偿、零点补偿、非线性补偿、解耦矩阵计算、线性退耦运算、神经网络退耦运算、力觉计算、滑觉判别、数据通信、状态显示。其中：A/D 转换模块中为缩短读数据时间，采用了存储器映射方式，通过 PC16 位总线读入，有效的支持了数据的实时处理。

一种用于多功能类皮肤型传感器的信号双重解耦方法，其特征在于：

在第一层线性解耦的基础上进行第二层神经网络解耦，所述的线性解耦，即解出每个敏感单元中，各方向受力后相应敏感元件输出间耦合满足线性关系，耦合矩阵由对传感器的实际标定算得，该矩阵经反转后得解耦矩阵；

所述的第二层神经网络解耦，采用 BP 神经网络方法解耦，应用误差反传算法为学习规则，网络共分四层：输入层、隐含层一、隐含层二、输出层；隐含单元的输出函数是双曲正切函数，输出层单元的输出函数是有界线性函数，在整个传感器结构中力传递模式不明确的状态下，神经网络解耦解出敏感单元之间的耦合，使整个传感器阵列中所有可用信息得到充分的融合。

机器人感知外界环境和自身状态能力的大小是决定机器人智能程度或自主能力的关键因素之一。触觉是自主式机器人进行作业所必须的一种重要感觉，利用触觉图像可以辅助视觉对被抓物体进行识别，可以得到抓握位置是否正确的信息。还可以检测被抓物体是否有滑动产生以便适当地调整手爪的夹持力等。本发明与背景技术相比所具有的有益效果是：

本发明利用半导体工艺以及微机械加工技术，在硅片上制成 4×8 三维力敏阵列和多路模拟开关，辅以高速、多路数据采集系统、神经网络方法解耦信息融合技术，定量地测量了接触表面上三维力的大小，能够同时获取综合的触觉信息。多功能类皮肤型传感器将接触觉、压觉、力觉、滑觉等多种感觉集于一身其功能远远超过目前大量研究的功能单一的触觉传感器，具有广阔的应用前景。对于一个无人的空间实验室，提高其利用率意义十分重大，而装有视觉、触觉等系统的空间机器人将具有一定的自治能力，则有可能通过遥控和监控进行作业，如装卸机械或电气

零件、抓取失重状态的悬浮物体以及实现太空飞行器之间的交会对接等,尤其是在探索未知世界时可以通过触觉感知未知物体的物理特性。本发明还可以用于精度装配机器人和工作在恶劣环境中的水下机器人、核工业机器人的作业和识别环境。

下面结合附图和具体的实施方式对本发明作进一步详细的说明:

图 1a—1c 是本发明的敏感阵列结构图和敏感单元设计图。

图 2a—2c 是图 1 所示敏感单元设计中的敏感桥路设计图。

图 3 是信号读出电路设计中的集成模拟开关译码电路原理图。

图 4a—4c 分别是敏感阵列工艺中的敏感芯片、传力阵列、保护阵列图。

图 5 是多功能、类皮肤传感器数据采集系统原理图。

图 6 是集成多路模拟开关原理图。

图 7 是集成模拟开关译码电路原理图。

图 8(a)是放大通道原理图。

图 8(b)是控制子系统原理图。

图 8(c)是数据转换处理机原理图。

图 9 是主程序流程图。

图 10 是 bp 神经网络结构示意图。

图 1 中的 a. 外形图、b. 剖面图及敏感阵列结构图。该敏感阵列为一扁平状长方体,可以安装在机器人手爪上。表面覆盖层为橡胶膜片,它是用硅橡胶粘贴在传感器表面。主要用于传感器表面保护、增加摩擦系数、吸收冲击能量,同时又能够将绝大部分接触力传递到敏感单元上。敏感阵列由 32 个敏感单元构成,每个敏感单元都能够测量三个方向的力即:法向力 F_z 和两个方向的切向力 F_x 、 F_y 。32 个敏感单元以 4×8 阵列排列,并在每个单元中心位置上方装有传力柱。保护阵列安装在敏感单元下面,可以对敏感单元进行过载保护。基板是敏感阵列的安装结构板,同时上面印制了镀金引线电极,用于敏感阵列的内部和外部引线。

图 1 中的 c. 敏感单元设计图为 E 形膜片结构的设计图。敏感单元结构采用单晶硅材料制作,结构形式为 E 形膜。E 形膜结构具有微加工方便、工艺兼容性好和结构强度高等优点。

图 2 为敏感桥路设计中的敏感敏感电阻位置与接线。敏感元件为硅掺杂电阻,利用半导体压阻效应实现力—电转身。敏感电阻的位置是根据敏感单元中的分布来确定的,由于在不同方向的力作用下敏感结构具有

说 明 书

不同的应力分布，因此按图二所示的位置和结线可以组成三组单独的电网络，它们的输出电压变化量分别与法向力 F_z 和两个方向的切向力 F_x 、 F_y 相对应。

图 3 是信号读出电路设计中的集成模拟开关译码电路原理图。敏感阵列中包含了 32 个敏感单元，而每个单元中又有三组敏感电阻，这样一共有 96 路敏感信号。这些敏感信号不可能同时输出，必须设计一信号读出电路对各路信号进行巡检。读出电路由 12 根单元地址进行控制，其中四根为行地址线、八根为列地址线。当某一单元被选通时，其测到的三个法向力和切向力通过三根信号线输出。读出电路中的单元选通是利用 CMOS 场效应管的开关特性来实现的。

信号读出电路与敏感电阻都是采用集成电路工艺制作在包括 32 个敏感单元的硅片上，构成集成化敏感阵列。为保证传感器精度，要求电路中的 MOS 管达到如下技术指标：

导通电阻 $= 50\Omega \pm 10\%$ 导通电阻温漂 $\leq 5\%(0 \sim 40^\circ\text{C})$

断路电阻 $3 \times 10^8\Omega$ 最高工作频率 $\geq 1\text{ Mhz}$

控制信号 TTL 电平 最大允许电流 $\geq 2\text{mA}$

图 4 是敏感阵列工艺的敏感芯片、传力阵列、保护阵列剖面图。

1. 敏感芯片工艺流程

(1). 准备硅片。技术要求：(100)晶向，N 型，直径 $\phi 76\text{mm}$ ，厚度 $500 \pm 15\mu\text{m}$ ，双面抛光，无错位，晶向偏差 $\leq 0.5^\circ$ ，平行度 $\leq 5\mu\text{m}$ ，电阻率 $\rho = 4 \sim 8\Omega \cdot \text{cm}$ ，掺杂浓度 $N_0 \sim 10^{15}/\text{CM}^3$ 。

(2). 采用标准的硅栅 CMOS 集成电路 5 微米工艺，在硅片上正面制作信号读出集成电路。

(3). 在制作集成电路的同时，采用离子注入掺杂工艺制作敏感电阻。掺杂元素为 B^+ ，注入剂量 $5.5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ ，束流 $100\mu\text{m}$ ，能量 40keV ，时间 $35''$ 。注入后在 920°C 下通氮气 $150'$ 、通氧气 $20'$ ，使结深达到 $1\mu\text{m}$ 左右。

(4). 采用 PECVD 工艺在硅片背面淀积氧化硅和氧化硅薄膜，膜厚各 $0.4\mu\text{m}$ 。

(5). 采用双面光刻工艺在硅片背面刻蚀 E 形膜图形。

(6). 通过各向异性腐蚀将 E 形膜腐蚀至 $80\mu\text{m}$ 厚。腐蚀液为 $33\%\text{KOH}$ ，温度 76°C 。

(7). 中测、划片分离。

2. 传力阵列工艺流程

说 明 书

- (1)准备硅片。技术要求：(100)晶向，直径 $\Phi 76\text{mm}$ ，厚度 $500\pm 15\mu\text{m}$ ，双面抛光，晶向偏差 $\leq 1^\circ$ ，平行度 $\leq 20\mu\text{m}$ 。
- (2)热氧化，生长 $0.5\mu\text{m}$ 厚的 SiO_2 。该氧化层为腐蚀保护膜。
- (3)正面光刻阵列腐蚀分离与膜厚控制 V 形槽图形和单元断裂分离槽图形。
- (4)背面光刻阵列腐蚀分离与膜厚控制分离槽图形和单元断裂分离槽图形。
- (5)各向异性腐蚀至各传力阵列互相分离，而各阵列中与传力柱相连的悬臂梁完好。腐蚀液为止 33%KOH，温度 76°C 。

3. 保护阵列工艺

- (1)准备硅片。技术要求：(100)晶向，直径 $\Phi 76\text{mm}$ ，厚度 $500\pm 15\mu\text{m}$ ，单面抛光，晶向偏差 $\leq 1^\circ$ ，平行度 $\leq 20\mu\text{m}$ 。
- (2)热氧化，生长 $0.3\mu\text{m}$ 厚的 SiO_2 。该氧化层为腐蚀保护膜。
- (3)光刻横向通气孔和过载保护坑图形。
- (4)各向异性腐蚀至过载保护深度。腐蚀液为 33%KOH，温度 76°C 。

4. 阵列组装工艺流程

- (1)采用丝网印刷工艺在保护阵列表面印刷环氧树脂胶图形，将由 32 个敏感单元构成的芯片与保护阵列对准，施加 50 克压紧力将它们相对固定，并在 60°C 条件下固化 4 小时。
- (2)采用丝网印刷工艺在敏感芯片表面凸台位置印刷环氧树脂胶图形，将传力阵列与其对准，施加 50 克压紧力将它们相对固定，并在 60°C 条件下固化 4 小时。
- (4)在传力阵列的单元断裂分离槽部位施加一定的剪切力，使与传力柱相连的悬臂梁断裂，从而得到 32 个固定在各敏感单元上的独立传力柱。
- (4)用环氧树脂胶将镀金印刷电路板基板粘贴在保护阵列底部，并加压固化。
- (5)采用金丝球焊接技术焊接内引线。
- (6)焊接外引线后，采用环氧树脂胶将传感器芯片粘贴在敏感阵列外壳中，并加压固化。
- (7)将橡胶制作的表面覆盖层用硅橡胶粘贴在传力柱表面，并加压固化。

多功能类皮肤型传感器信息处理系统分别为集成多路模拟开关、控制放大单元和数据转换处理机三部分,原理框图见图5。

(1)集成多路模拟开关

由于敏感单元数量多(32个),输出信号路数多(3路/每个),需采用多路模拟开关使各路信号巡回被选通采样。同时考虑到敏感单元输出信号较弱,体积小,无法引出大量信号线。另外,多路模拟开关和选通译码电路与敏感单元具有工艺兼容性,固将二者一起集成在硅片上。这样使选通结构更为紧凑并提高了可靠性。

集成多路模拟开关原理如图6所示。开关采用CMOS工艺,一对pnp,npn场效应管构成主开关,得到较为平坦的开关导通特性。另用两只场效应管构成加速电路,改善主开关的通断特性。经测试,模拟开关导通电阻 $<150\Omega$,开关导通建立时间 $<1\mu\text{S}$ 。

模拟开关译码电路如图7所示。由2根行线和2根列线构成3路4选1(2×2)基本矩阵,分别控制选通4个敏感单元的3路力信号。选通电平采用低电平有效,以提高抗干扰性能。将8个基本矩阵连接起来,即构成3路(4×8)选1阵列。同时(2×2)基本矩阵也可提高制作成品率。

(2)控制放大单元

系统放大通道采用两放大器,摆率不低于是 $17\text{V}/\mu\text{S}$ 、输入电压噪声不高于 $80\text{nV}_{\text{p-p}}$ 、放大器频响不低于 5MHz ,见图8(a)。

该单元的基本功能有:4路放大通道(x.y.z.t.),4×8单元巡回选通,敏感阵列零点校正以及定时启动,发送A/D转换信号等。它是主系统能否在时间上和精度满足要求的关键部分。

系统中放大通道应具有足够短的建立时间($<1\mu\text{S}$)以保证切换敏感单元后的足够短的时间里输出信号能够稳定。此外为得到较高的A/D分辨率,放的通道应有足够的增益和低的噪音。为此,系统具有的4路放大通道,分别对应x.y.z三方向力输出和一路测温信号。

经测试,系统放大频道频响 $>5\text{MHz}$ 、输出噪音低于 20mv (增益)、建立时间 $<1\mu\text{S}$ 、增益范围15--450可调。

为保证系统能够正确的采样相应敏感单元输出信号,由一双单片微机系统控制定时以及选址、延时、启动A/D、D/A等工作,见图8(b)。单片微处理器采用美国microchip公司的PIC芯片,该芯片可在 20MHz 频率下工作。大多数指令周期仅 $200\mu\text{S}$,芯片具有20个I/O口以提供足够的控制接口;同时芯片具有2K字节的EPROM作为程序存储器,因此

说 明 书

芯片无需外围结口电路即可工作。

单片机 PIC1 提供了 12 个输出口作为(4×8)矩阵选通控制, 通过程序的运行, 巡回选通每个敏感单元信号的输出。为保证可靠选通, 在敏感单元和 PIC1 之间安排了驱动电路。

由于敏感单元数目多, 生产工艺的偏差使其输出信号零点有一定的离散性。为保证后续 A/D 采样值的动态范围, 需对具有过大离散性的敏感单元阵列进行零点校正。零点校正采用两种方式: 输入信号可调参考点和 D/A 补偿法。

在前级放大器的参考端, 设置一电位器调整参考点电压, 使各敏感电压的零点电压在前级放大器的动态范围内。测得这些电压后, 在单片机 PIC2 中设定零点补偿表。由一快速 D/A 转换器根据表中各设定值, 在选通相应敏感单元时, 输出相应零点校正值进入后级放大器综合校正。这种方法可提高校正准确度、增加放大通道信号比。

D/A 转换器采用 12 位分辨率, 输出电压范围 0~5V, 建立时间 $<2\mu\text{s}$ 。

(3)数据转换处理机

数据转换处理机包括一块高速 A/D 板和一台基本配置的 pentium133 微机。原理框图见图 8(c)。

高速 A/D 板选用 AC1850 型, 该板具有 1MHz 转换速率、8K FIFO 缓存、16 路模入通道以及外触发、外时钟、可控脉冲输出等功能。A/D 动态误差不高于 $\pm 2\text{LBW}$ 。

微机对转换后的数据进行各种处理和运算。采用通用微机可充分利用已有操作系统和软件资源; 微机硬件可根据需要增配键盘、显示器、鼠标等 I/O 工具。同时, 微机可通过并行口与上位机通信。

图 9 为测量程序的主要流程图。全部软件使用 C 语言编制, 功能为测量、标定、训练等。全部程序共占约占 2MB 空间。可根据不同目的选用。系统软件配有下列模块可根据不同要求使用: A/D 转换、平滑滤波、温度补偿、零点补偿、非线性补偿、解耦矩阵计算、线性退耦运算、力觉计算、滑觉判别、数据通信、状态显示。其中: A/D 转换模块中为缩短读数据时间, 采用了存储器映射方式, 通过 PC16 总线读入, 有效的支持了数据的实时处理。传感器信号采用双重解耦, 第一层为线性退耦。每个敏感单元中各方向受力后相应敏感元件输出间耦合满足线性关系。耦合矩阵由对传感器的实际标定算得。该矩阵经反转后得解耦矩阵。阵列中每个敏感单元均有相应的上述矩阵。

说 明 书

解耦矩阵:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$$

退耦矩阵:

$$\begin{bmatrix} F_x' \\ F_y' \\ F_z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}$$

式中: F_i —标定力; F_i' —测量力; V_i —传感器输出

由于传感器结构中非线性材料(橡胶、环氧树脂)的使用,使得敏感单元之间存在着复杂的非线性耦合关系。因此,采用 bp 神经网络方法解耦。网络采用误差反传算法为学习规则;网络共分四层:输入层、隐含层一、隐含层二、输出层;隐含层单元的输出函数是双曲正切函数,输出层单元的输出函数是有界线性函数。网络结构示意图见图 10。

隐含层单元: $V_i = \frac{1 - e^{-u_i}}{1 + e^{-u_i}}$; 其中

输出层单元: $U_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} V_j$; if $U_i > 2000; U_i = 1$
 if $U_i < -2000; U_i = -1$

2007-20

说明书附图

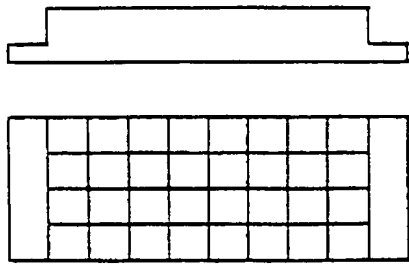


图1 a. 外形图

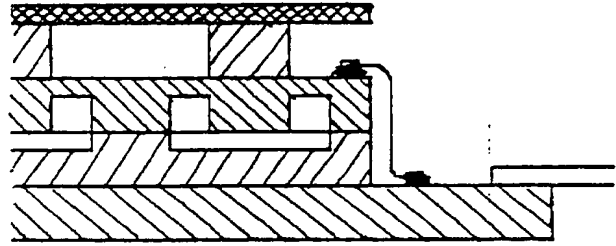


图1 b. 剖面图

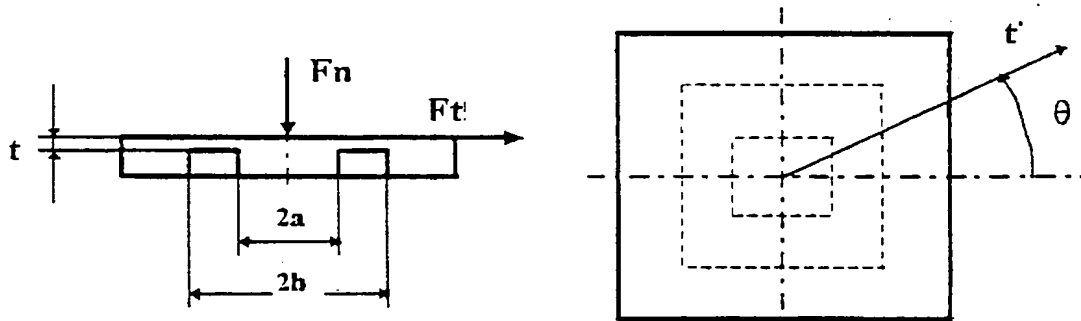


图1 c. 敏感单元设计图

说明书附图

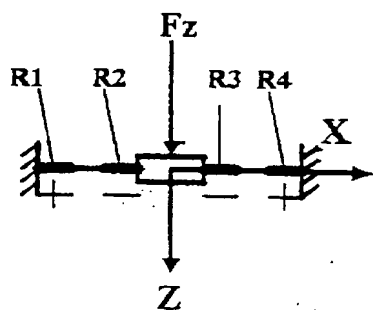


图 2a. F_z 测量桥路

F_z F_x F_y

- + 0

- - 0

+ 0 0

+ - 0

+ + 0

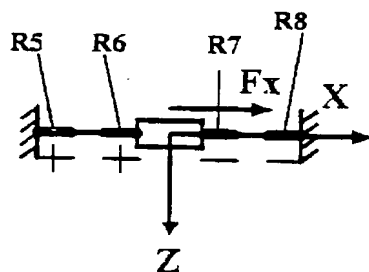
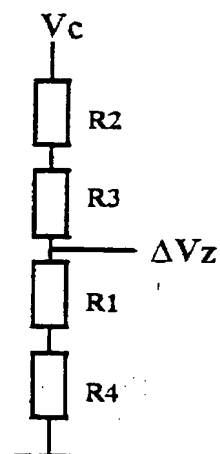


图 2b. F_x 测量桥路

F_z F_x F_y

- - 0

+ - 0

0 + 0

+ + 0

- + 0

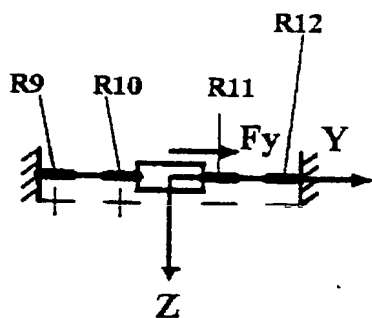
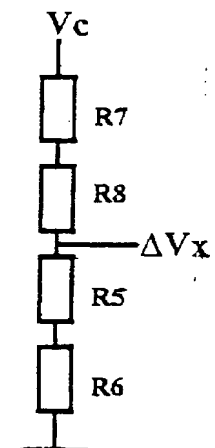


图 2c. F_y 测量桥路

F_z F_x F_y

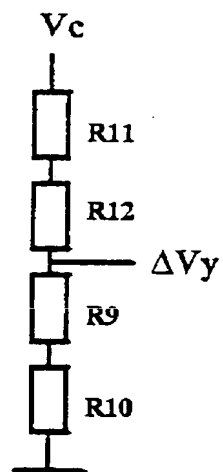
- 0 -

+ 0 -

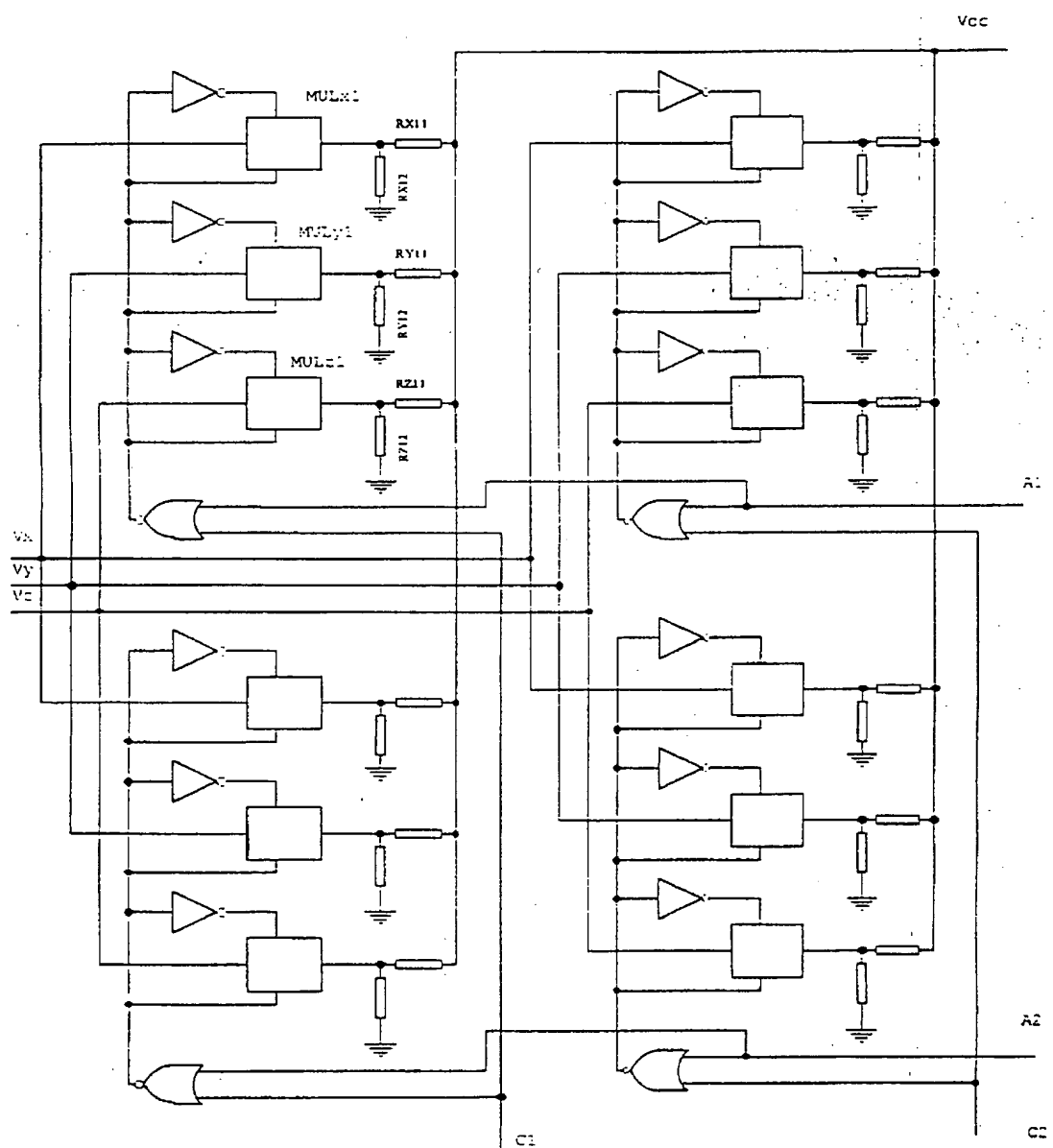
0 0 +

+ 0 +

- 0 +



说明书附图



集成模拟开关译码电路原理图

图 3

说明书附图

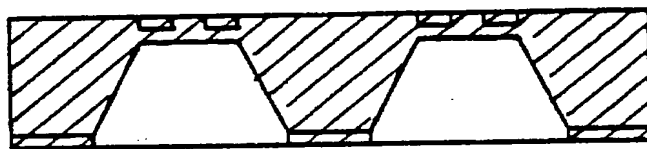


图4a 敏感芯片

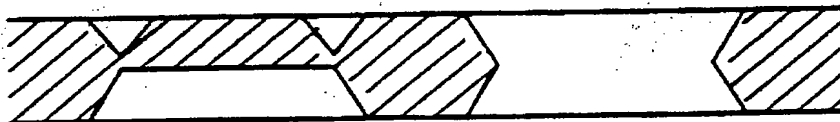


图4b 传力阵列

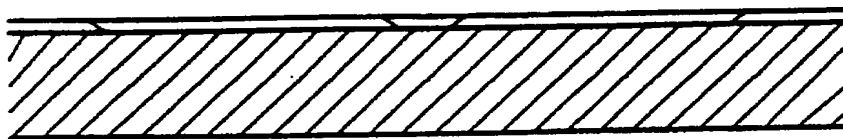


图4c 保护阵列

图 4

说明书附图

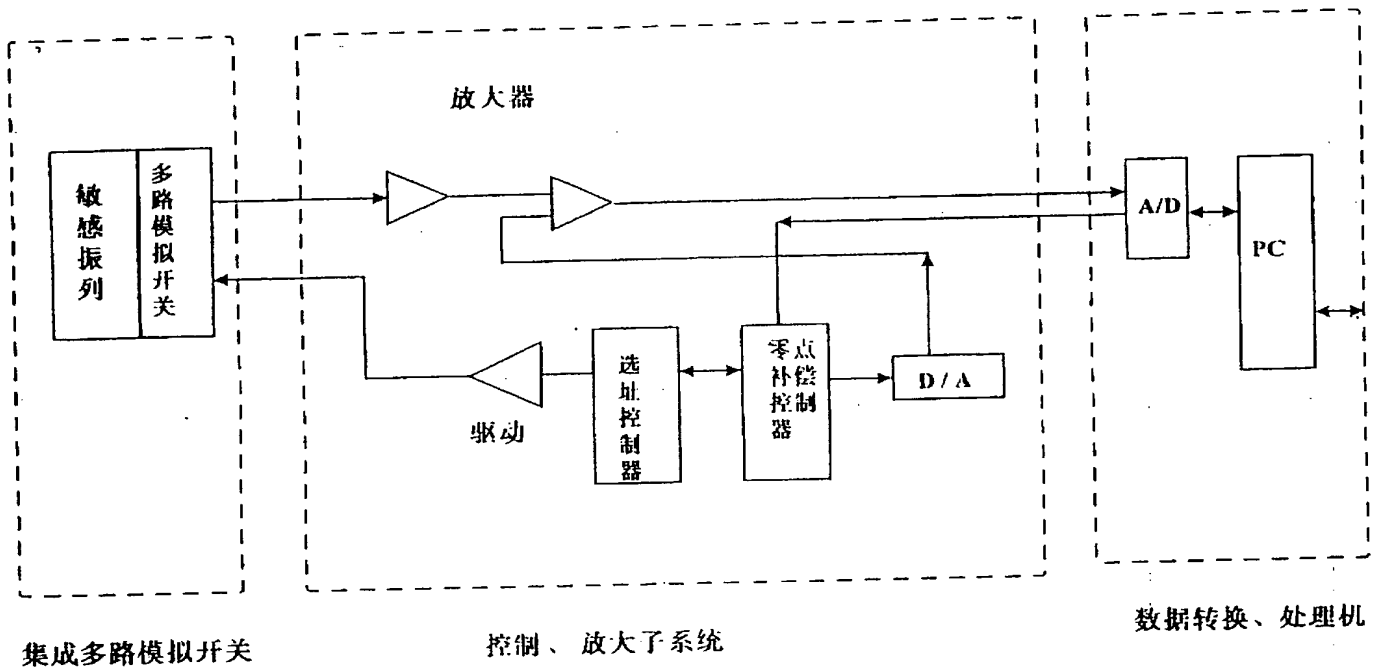
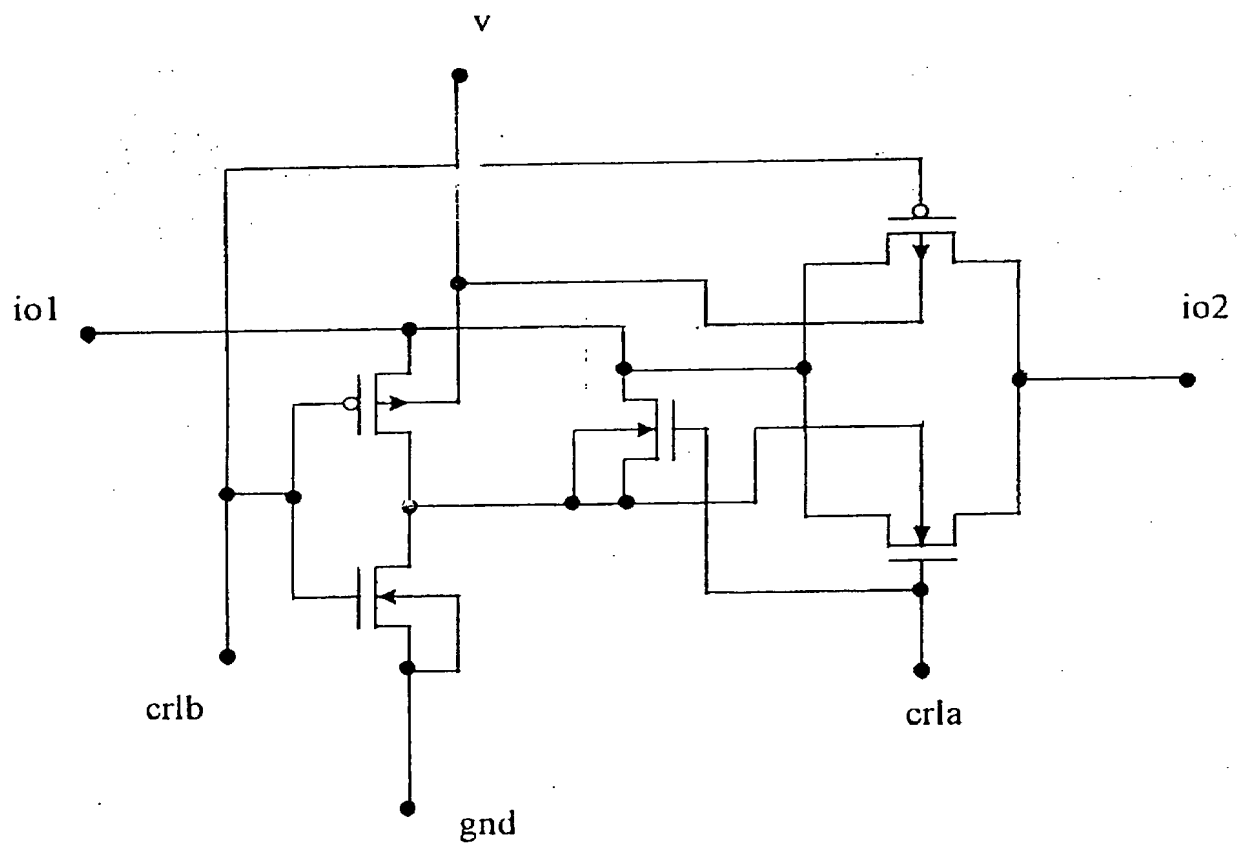


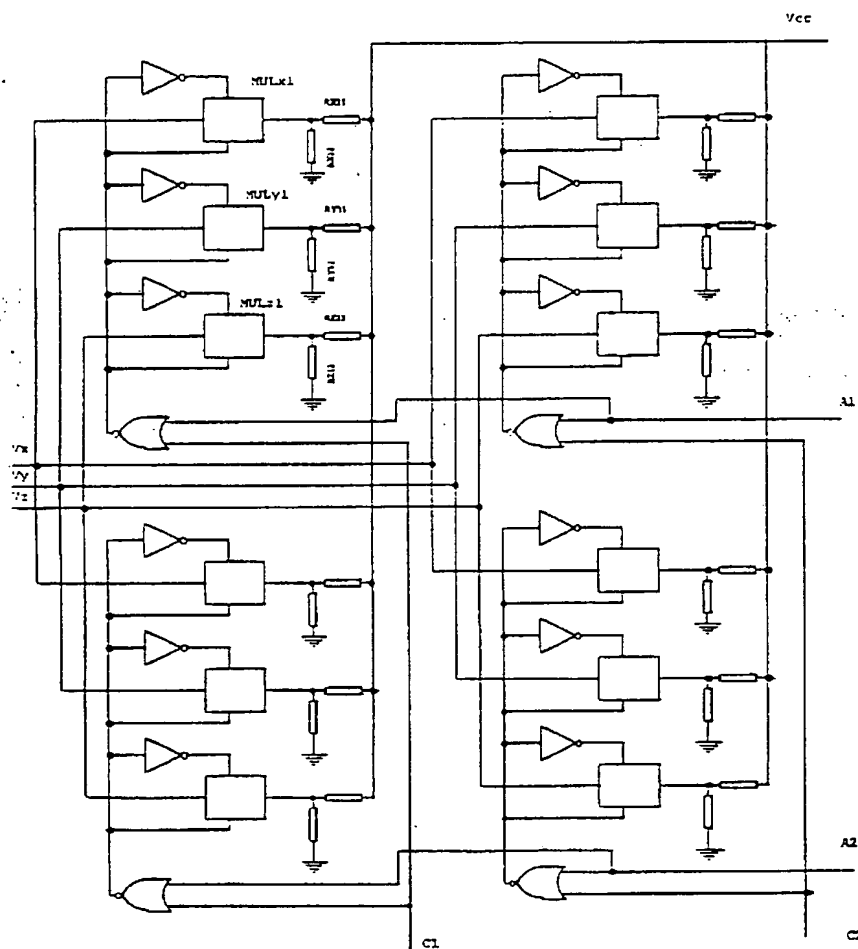
图 5



集成多路模拟开关原理图

图 6

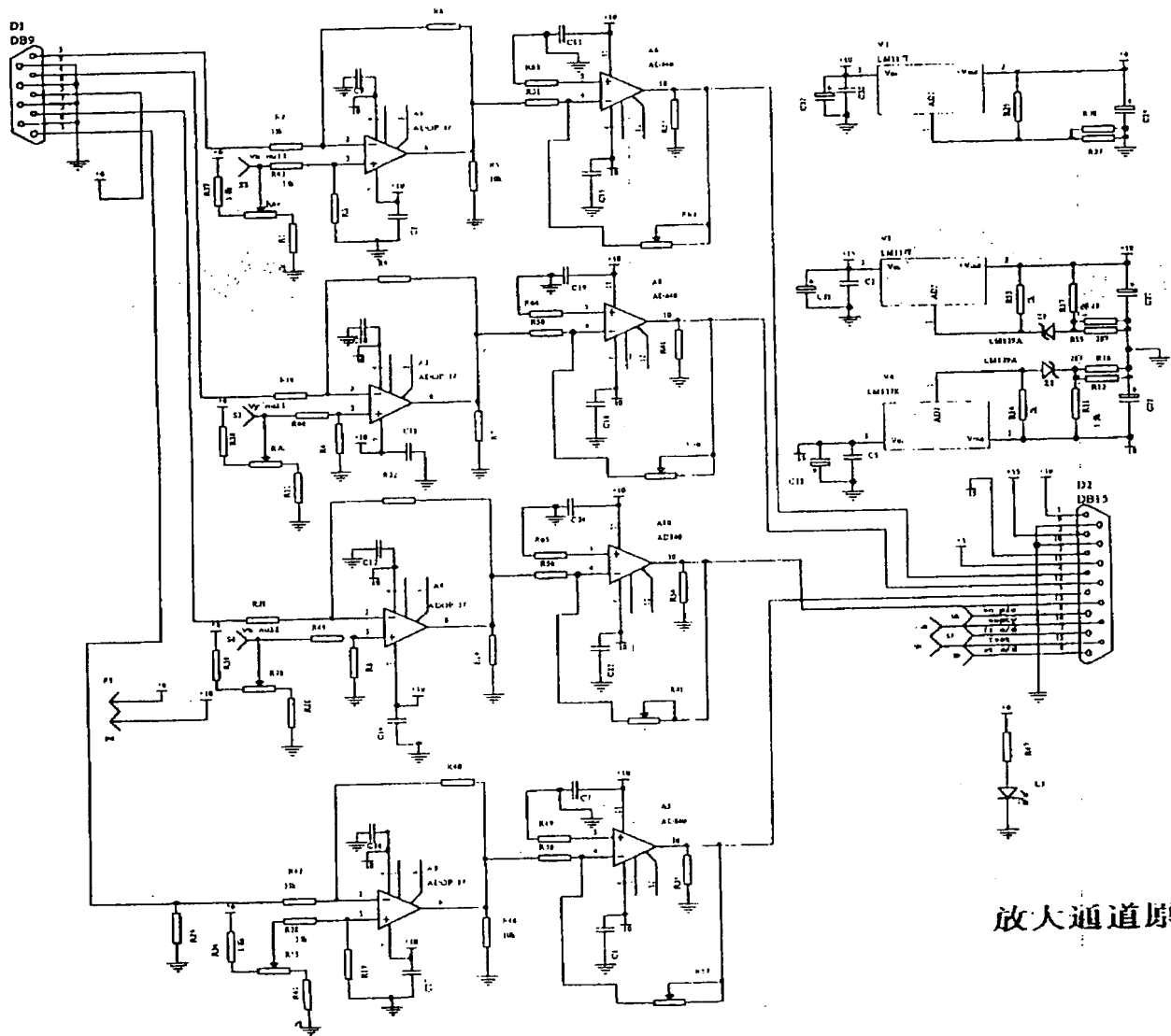
说明书附图



集成模拟开关译码电路原理图

图 7

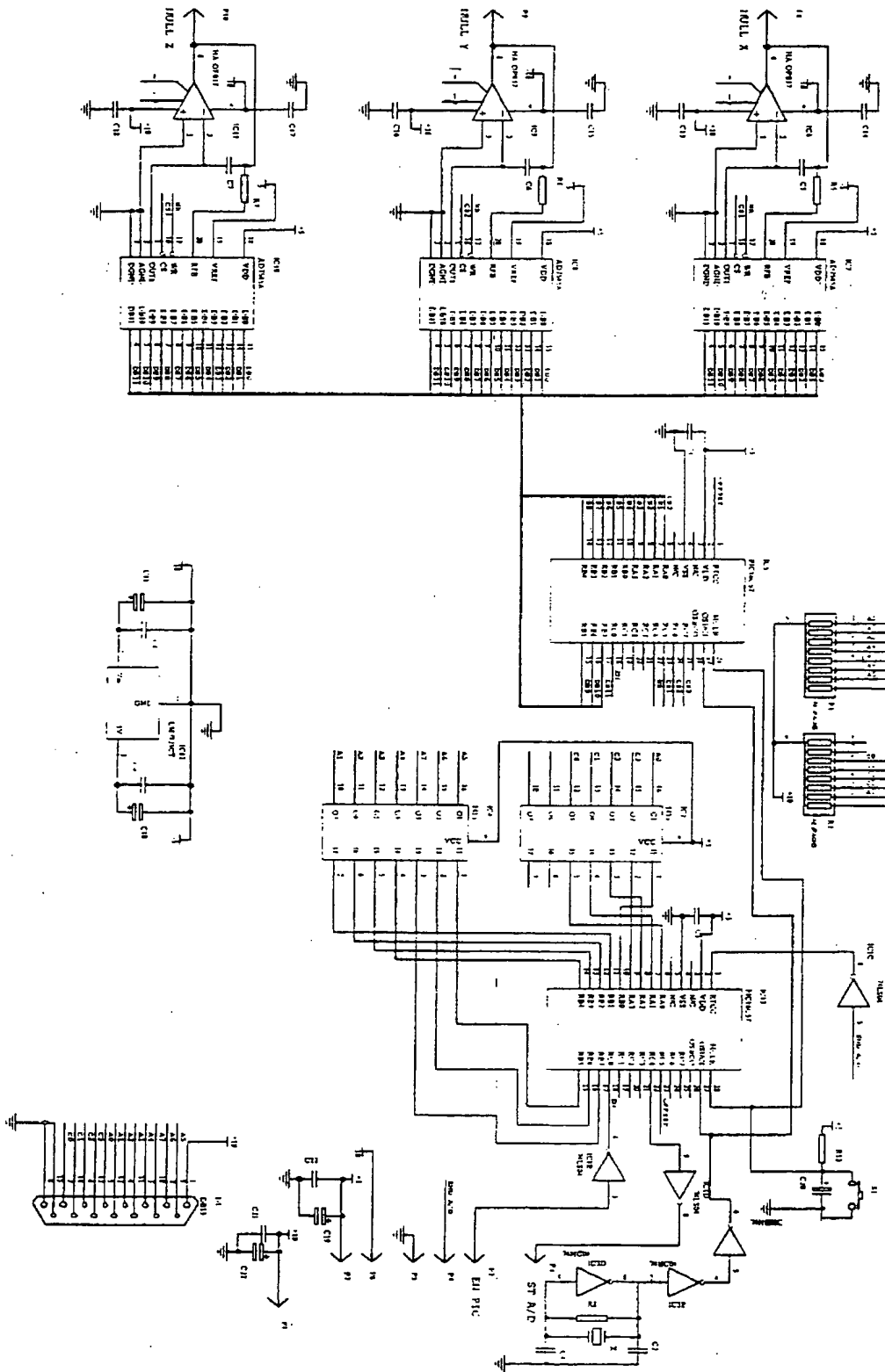
说明书附图



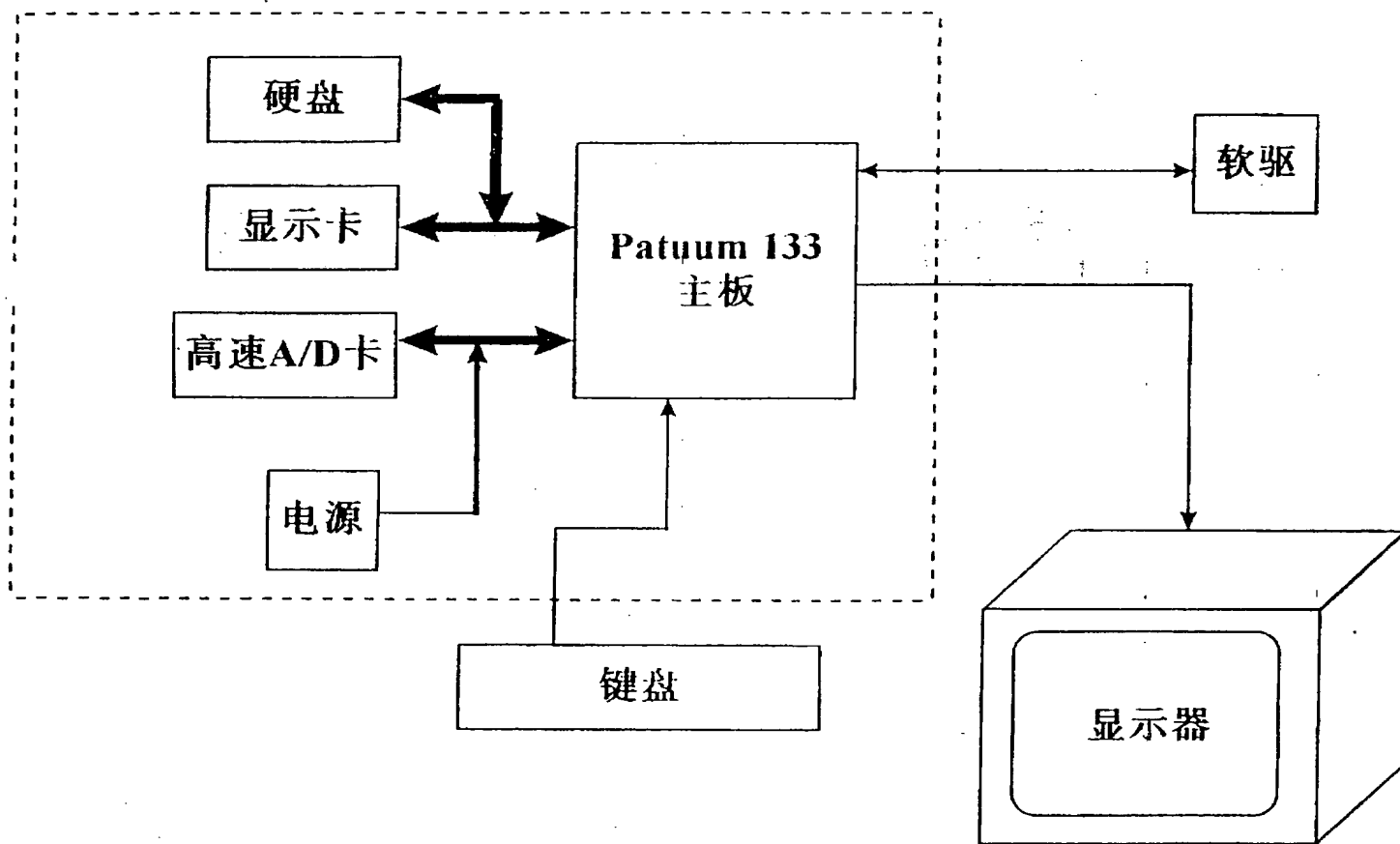
放大通道原理图

图 8(a)

说明书附图

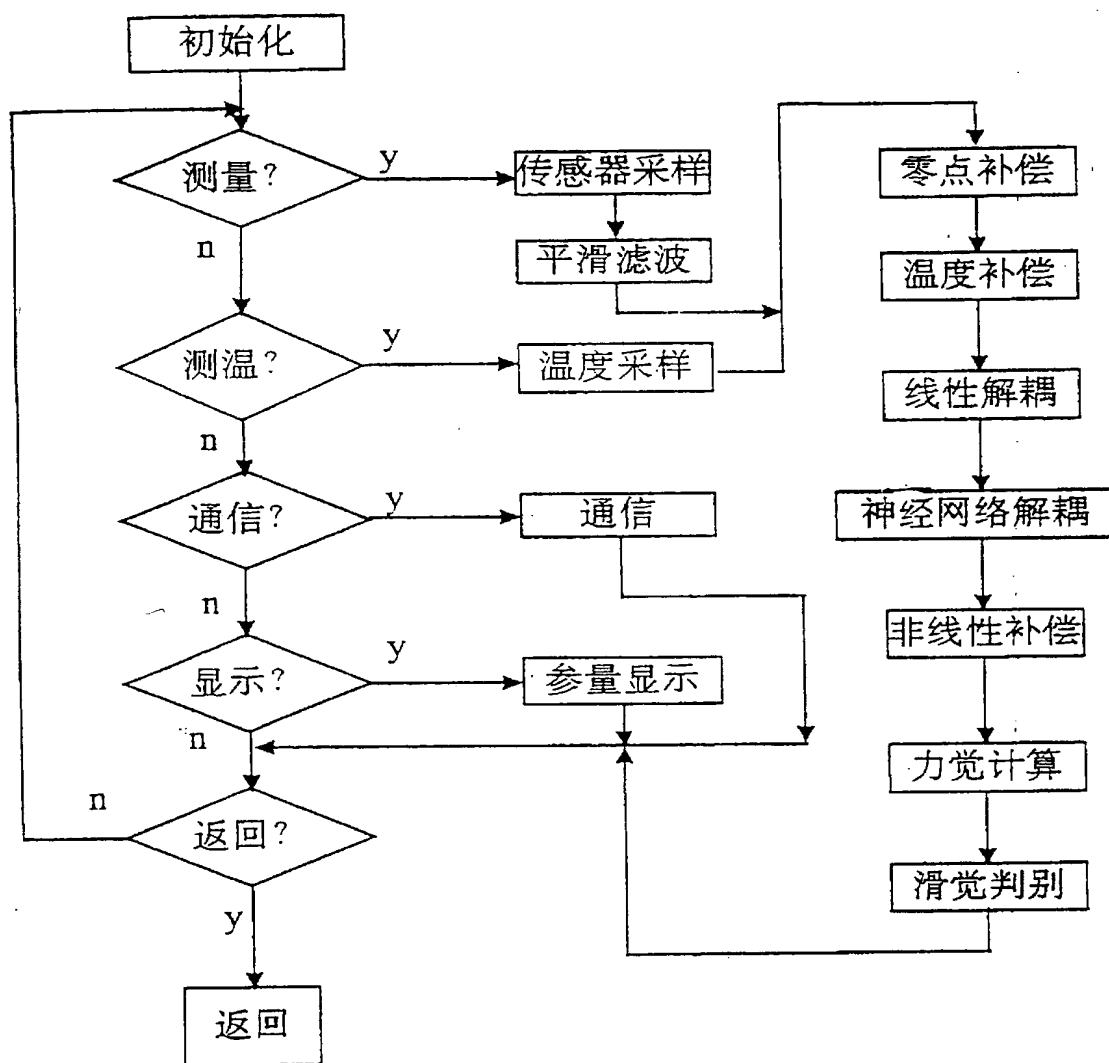


控制-子系统原理图



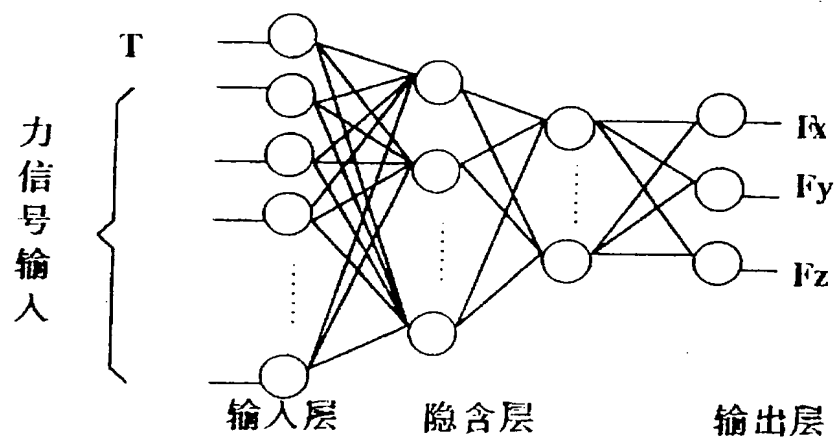
数据转换处理机原理图

图 8(c)



主程序流程图

图 9



bp神经网络结构示意图

图 10